6Д

УДК 004.896

О.В. Даринцев
Институт механики Уфимского НЦ РАН, г. Уфа, Россия
ovd@imech.anrb.ru

Использование интеллектуальных алгоритмов при построении систем управления микроробототехническими комплексами*

Рассмотрены методики использования алгоритмов искусственного интеллекта при построении систем управления микророботами и комплексами, учитывающих специфику решаемых задач и непредсказуемый характер взаимодействия микрообъектов между собой и с окружающей средой. Показана необходимость построения и использования виртуальных моделей не только при синтезе алгоритмов, но и в процессе управления. Приведены результаты программных и натурных экспериментов.

Увеличение количества исполняемых функций, точности и надежности микроэлектромеханических систем (МЭМС) и устройств с сохранением сверхмалых размеров возможно благодаря использованию современных интегральных технологий (КМОП, LIGA, SIGA процессы, MUMP's и др.). Но для производства МЭМС с высокой степенью интеграции сложной механики и электроники, технологий микрообработки уже недостаточно, дополнительно требуется сборочная фаза и поэлементное пакетирование. Поэтому в настоящее время крупные центры разработки микроэлектромеханических систем столкнулись с проблемой создания автоматизированных сборочных центров на базе микророботов, что требует глубокой теоретической и экспериментальной проработки, разработки методологии исследования, проектирования и управления подобными системами.

Современное состояние исследований в данной области науки можно охарактеризовать как недостаточное: в настоящее время нет даже экспериментального прототипа микроробототехнического комплекса (МРТК), в которой были бы полностью автоматизированы все микросборочные операции: микроманипулирование, сборка, тестирование микрокомпонентов и другие операции микрообработки проводятся только под контролем человека-оператора. Также недостаточное количество отработанных и эффективных конструкторских решений в микроробототехнике, что связано с необходимостью изготовления экспериментальных образцов, вызванной отсутствием полномасштабной среды моделирования эффектов микромира. Тем не менее, при производстве простейших МЭМС, таких как микроакселерометры, микрогироскопы, механические резонаторы и т.д., производители активно используют среду моделирования, позволяющую полностью исключить на этапе разработки стадии прототипирования и изготовления опытных образцов, что позволяет сократить в 3 – 4 раза сроки разработки новых систем и в 1,5 – 2 раза стоимость конечного продукта. Использование подобных систем при конструировании микророботов не представляется возможным, так как эти программные комплексы рассчитаны на моделирование только корпусированных МЭМС, т.е. таких микросистем, которые функционируют в изоляции от внешней среды – внутри герметичного корпуса

* Автор благодарит за финансовую поддержку проводимых исследований ОЭММиПУ РАН, РФФИ и АН РБ, которая осуществляется благодаря программе №15 фундаментальных исследований ОЭММиПУ РАН, грантам РФФИ 08-08-97021-р_поволжье_а, 08-08-97039-р_поволжье_а и 08-08-00774-а

или у которых с внешней средой контактирует только сенсорная поверхность. Поэтому было предложено разработать среду моделирования, структура и модельное наполнение которой соответствовали бы специфике функционирования мобильных микророботов.

Анализ тенденций развития МЭМС, микроробототехники, сложных комплексов, построенных на их базе, и систем управления показывает, что объем функций, выполняемых системами управления (СУ) перспективными микросистемами, определяется следующими основными факторами:

1) дальнейшим усложнением конструкции микромеханизмов и микророботов, связанным с созданием многофункциональных, гибких, адаптивных производственных систем, изменяющих в широком диапазоне свою структуру и параметры для обеспечения наиболее эффективного (в данных условиях технологического процесса) режима работы;

2) дальнейшим повышением требований к качеству процессов управления, точности реализации операций, экономичности, необходимостью перехода к «самостоятельному» функционированию по состоянию;

3) необходимостью включения системы управления микроробота (микромеханизма) в качестве подсистемы в интегральную СУ технологическим процессом.

Эти факторы ведут к усложнению решаемых частных (локальных) задач, к еще большему увеличению количества регулируемых параметров и регулирующих факторов в системе управления, ужесточению требований к различным свойствам системы, к качеству функционирования отдельных подсистем и их взаимодействию. Таким образом, для современных и перспективных МРТК (не только технологических) характерны: высокая интенсификация процессов управления, широкий диапазон изменения внешних условий и режимов работы, наличие взаимосвязанных друг с другом управляемых рабочих параметров, действие неизмеряемых сильных возмущений, носящее в лучшем случае слабопрогнозируемый характер. Следствием этого является отсутствие точных математических моделей, либо их чрезмерная сложность и вероятностный характер, высокая размерность пространства состояний и принимаемых решений по управлению, иерархичность, многообразие критериев качества, высокий уровень шумов и т.д.

Таким образом, микроробот как объект управления относится к классу многосвязных нестационарных и нелинейных объектов, функционирование которого происходит в условиях параметрической и структурной неопределенности. В качестве источников возникновения неопределенностей здесь выступают дефицит информационных, временных, энергетических, материальных и других видов ресурсов, непредсказуемость поведения внешней среды, непредвиденные изменения в структуре и поведении самой системы. Эффективное управление таким сложным динамическим объектом требует автоматизации процедур выбора оптимальных значений регулируемых координат (программ управления) в зависимости от текущей цели управления, условий работы, состояния элементов конструкции. Соответствующее изменение характера организации процесса управления возможно лишь при построении СУ микророботами в классе многоуровневых интеллектуальных систем. Поэтому повышение эффективности процесса управления и дальнейшего развития СУ микророботов, способных компенсировать последствия влияния неопределенных факторов, является весьма актуальной проблемой.

При анализе проводимых в ведущих лабораториях исследований становится очевидно, что при построении САУ МРТК попытки учесть всё на ранних этапах проектирования, т.е. стремиться получить абсолютно полную и достоверную информацию о процессах, ориентироваться только на строгие детерминированные модели, на идеальную реализацию соответствующих методов и алгоритмов, заранее обречены на провал. Поэтому предлагается изначально ориентироваться на интеллектуальные системы управления МРТК, которые могут сохранить работоспособность в условиях сильных сигнальной и структурной неопределенностей.

Идея интеллектуального управления микромеханическими устройствами получила широкое распространение благодаря гибкости ее структуры, легкой перенастройки и т.д. В ряде публикаций [1-3] отмечаются хорошие перспективы и потенциально высокая эффективность более широкого применения методов искусственного интеллекта – не только для управления данным классом объектов с учетом фактора неопределенности, но также и для реализации систем планирования и обработки информации.

В рамках проблемы создания эффективных микроробототехнических систем и комплексов совместно с решением задач управления необходимо решение следующих научных и научно-технических задач:

а) разработка теоретических основ функционирования микромеханических устройств в условиях действия сложнопрогнозируемых возмущающих воздействий (в условиях «микромира»), представление всего комплекса взаимодействий в виде математических и программных моделей. При этом особое внимание необходимо уделить адгезионным силам и вибрационным процессам при функционировании механических компонентов;

б) разработка теоретических основ автоматизации технологических процессов изготовления МЭМС со сложной объемной интеграцией компонентов, направленных в первую очередь на решение задач автоматизации технологий сборки механических узлов, решение проблем корпусирования (пакетирования);

в) разработка архитектур, методов и каналов информационного обмена, программного и алгоритмического обеспечений для реализации систем децентрализованного управления большими коллективами мобильных микророботов, функционально однородных и неоднородных;

г) создание программно-аппаратных комплексов и виртуальных систем информационной и системной поддержки всего жизненного цикла изделий МЭМС: от проектирования до использования. Создание единого информационного пространства и средств разработки, изготовления и управления микророботами;

д) проектирование и разработка новых типов микроприводов, микросенсоров. Как на основе использования традиционных материалов: пьезокерамики, сплавы и кристаллы с памятью, биметаллы, так и новых материалов: наноструктурные материалы, пластичные массы с уникальными свойствами, композиты и т.д.

е) разработка новых конструкций микророботов и МЭМС с уникальными функциональными возможностями, предназначенных для решения «узких» проблем в технике и технологиях.

Решение некоторых поставленных выше задач приведено далее.

Комплексное моделирование микроробота

Подавляющее большинство известных конструкций микророботов характеризуется использованием приводов, построенных на преобразователях различных видов энергии (электрической, тепловой и т.д.) в механическое перемещение, а поэтому отсутствием передаточных механизмов, упрощенной конструкцией корпусов. Поэтому построение кинематических моделей не представляет сложности. Однако для построения адекватных систем управления необходимо также хотя бы минимальное знание динамики перемещения.

Рассмотрим построение системы управления пьезоэлектрического мобильного микроробота. Проведенные эксперименты показали, что шаг, выполняемый приводом микроробота, не является величиной постоянной, а зависит от технологического разброса характеристик приводов, от внешних возмущающих воздействий, вызванных шероховатостью поверхности, сравнимой с величиной отдельного шага, и действием адгезионных сил.

В связи с этим обстоятельством предлагается коэффициент передачи представить в виде суммы постоянной величины и параметрического возмущения.

Движение микроробота по траектории $\overline{Z}(t)$ можно представить в виде нестационарного уравнения:

$$p\overline{Z}(t) = V \cdot I \cdot H \cdot \left[K^{*} + ДK(t)\right] \ \overline{c}(t), \tag{1}$$

где V – частота подаваемого в модель сигнала управления U(t);

K – линейный коэффициент зависимости напряжение-перемещение;

I – единичная матрица;

$H = B \cdot R$ – матричный оператор, где в свою очередь,

$$B = \begin{vmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ b_{x1} & b_{x2} & b_{x3} & b_{y1} & 0 & b_{y3} \end{vmatrix}$$ – матрица коэффициентов для расчета элементарных движений по х-, у-координатам и углу поворота;

R – матрица перехода из локальной системы координат в глобальную.

Особенностью данного описания, в отличие от традиционного, является то, что оператор, связывающий $\overline{Z}(t)$ и $\overline{\rho}(t)$, является нестационарным коэффициентом передачи, не содержащим дифференциальных компонент, т.е. является голономным оператором. При этом постоянную составляющую K^{*} можно рассматривать как номинальный коэффициент передачи объекта, а нестационарную составляющую $\Delta K(t)$ – как некоторое эквивалентное параметрическое возмущение, действующее на объект и вызванное нелинейными свойствами поверхности, изменением ее характеристик во время движения и технологическим разбросом характеристик пьезоприводов.

При этом для параметрического возмущения $\Delta K(t)$ может быть получено только приближенное значение, т.к. действующие величины адгезионных сил, как возмущений со стороны окружающей среды, носят вероятностный характер (рис. 1).

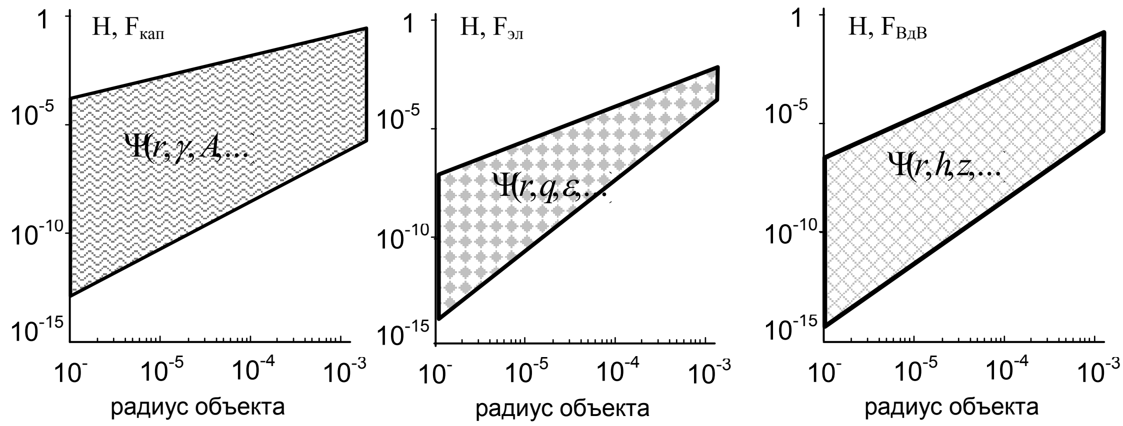


Рисунок 1 – Области достоверности для адгезионных сил (слева – направо: силы поверхностного натяжения, Кулона и Ван-дер-Ваальса)

То есть для режима эксплуатации R действующие на микроробот сигнальные возмущения F_{out} будет справедливо представить в виде следующего представления:

$$F_{out} = \sum_{i}^{n(R)} \left(б_i \cdot F_i^R\right) + Д^R, \tag{2}$$

где α_i – коэффициент масштабирования адгезионной силы F_i^R, отражающий особенности ее проявления на режиме эксплуатации *R*; Δ^R – возмущения, проявляющиеся на режиме R, но не имеющие аналитического выражения и носящие вероятностный характер.

В процессе эксплуатации микроробота его параметры меняются вследствие износа, старения компонентов, действия окружающей среды и т.д., но эти изменения можно учесть при управлении, используя статистику, накопленную во время опытной эксплуатации, и снизить их влияние путем тщательной конструкторской проработки конструкции. То есть в формуле (1) постоянную составляющую K^* можно представить в виде переменной с небольшой величиной дрейфа во времени, или корректировать ее во время эксплуатации в соответствии с экспериментальными данными.

Более сложным представляется аналитическое описание *ΔK(t)*, т.к. кроме визуальной обратной связи (координаты, ориентация микроробота и скорость перемещения) другой информации о взаимодействии микроробота с окружающей средой нет. При этом действие возмущений зависит от режима функционирования микроробота: перемещение (крейсерский, оперативный и точный режимы), выполнение технологических операций (манипуляции, сборка, тестирование и т.д.), а также от типа микроприводов, особенностей конструкции, типов контактирующих материалов и др. Поэтому для управления микророботами необходимо использовать простейшие модели кинематики и динамики, т.к. на высокоточные перемещения большее влияние оказывают особенности взаимодействия объектов на микроуровне, а не конструкция узлов микроробота и тип микропривода. Чем выше точность реализуемого перемещения, тем существеннее влияние возмущений, а т.к. величина адгезионных сил может иметь достаточно большой разброс (рис. 2), то поэтому необходима разработка алгоритма предсказания величин адгезионных сил. Для достижения необходимой точности (для корректной работы оборудования достаточно 85 – 90 %) предсказания необходимо использовать модельные данные, данные экспериментов и текущие данные обратной связи, на основе которых можно сформировать сначала качественную картину происходящего на микроуровне, а затем уточнить коэффициенты α_i для наиболее значимых адгезионных проявлений.

Рассмотрим особенности использования построенных выше моделей на примере некоторых режимов работы микроробота.

В предлагаемой модели движения пьезоэлектрического микроробота, при работе в крейсерском режиме, больший вес в проявлении возмущений, коэффициент *ΔK(t)*, принадлежит шероховатости поверхности, при этом для каждой из трех точек контакта с поверхностью это собственная уникальная величина, сравнимая с величиной отдельного шага. Поэтому реализовать эту особенность выполнения перемещения в модели практически невозможно, особенно если учесть, что на данный момент времени нет миниатюрных технических средств, позволяющих измерить с точностью до 0,1 мкм высоты поверхности в точке контакта. О внешних возмущениях, действующих на микроробот, можно судить только по изменению характера движения и величинам ошибки следования по траектории или уменьшению (увеличению) реальной скорости перемещения. Таким образом, при построении систем управления для данного режима нет необходимости строить алгоритм предсказания, достаточно реализовать адаптивный контур коррекции, который на основе имеющейся информации о перемещении микроробота и результатов моделирования мог бы скорректировать сигналы управления в соответствии с желаемым функционалом.

Но в отличие от оперативного, на крейсерском режиме необходимо скорректировать модель кинематики микроробота, т.к. необходимо учитывать инерцию платформы: при частотах подачи управляющего сигнала более 300÷350 Гц скорость перемещения

платформы начинает превышать теоретически рассчитанное значение. Так, на частоте 1000 Гц при подаче максимального возможного дифференциального напряжения в 350 В платформа перемещается со скоростью 10÷12 мм/с, а согласно теории величина отдельного шага – 2,5 мкм, поэтому «теоретически» возможной скоростью должна быть величина 2,5 мм/с. Это превышение реальной скорости объясняется инерционными свойствами достаточно тяжелой платформы, вес до 350 ÷400 г. Платформа не успевает потерять скорость, набранную в предыдущие такты, и получает новый импульс от микроприводов.

Для оперативного режима характерны частоты ниже 400 Гц, а также величины управляющего напряжения меньше максимального значения, поэтому кинематика микроробота может быть описана построенными выше уравнениями даже без введения поправочных коэффициентов. Но на этом режиме максимальное влияние имеет шероховатость поверхности, по которой происходит перемещение, вплоть до того, что в некоторых направлениях выполнение отдельного шага может быть практически невозможно, если величина шага меньше высоты «пика» или глубины «впадины» шероховатости поверхности в точке контакта. Поэтому на этом режиме основная нагрузка будет ложиться не на систему управления, а скорее на систему планирования, которая могла бы за короткое время найти обходные пути перемещения на малые расстояния, если в каком-то направлении перемещение невозможно.

Для точного режима, где реализуется только «качание» платформы относительно рабочей точки, шероховатость практически уже не имеет такого значения. Большое влияние имеет технологический разброс характеристик микроприводов: разная скорость износа микроприводов, допуски при изготовлении и установке микроприводов, колебания управляющего напряжения.

Таким образом, для реализации перемещения микроробота необходимо построение трех различных вариантов объединения кинематической, динамической и модели возмущающих воздействий в эталонную модель и обратную модель для реализации регулятора в системе управления.

При манипуляциях с микрообъектами меняются не только свойства сборочных единиц, но и микроинструментов. Наиболее существенные изменения происходят с рабочей поверхностью микросхватов, при этом при операциях захвата, отпускания или удержания микрообъекта возмущения со стороны адгезионных сил могут стать настоль существенны, что возникнет необходимость прервать выполнение операции. Поэтому при манипуляциях необходимо большее внимание уделить повышению достоверности прогноза величин и характера действующих в точке контакта адгезионных сил. При манипуляциях с микрообъектами, особенно в случае использования классической двухпальцевой схемы захватного устройства, развиваемых для захвата усилий привода более чем достаточно для пластической деформации поверхностных слоев микрообъектов. Поэтому для построения прогнозирующих схем необходимо использование моделей адгезионных сил.

Подводя итог вышесказанному и основываясь на концепции управления микроробототехническими комплексами, предлагается строить систему управления с использованием следующей информационной модели (рис. 2). Предлагаемая информационная структура представлена в форме триады, что определяется самой картиной взаимодействия между элементами структуры. Как это было показано в [4], для управления микросистемами и микророботами необходимо знание об эффектах, проявляющихся в микромире, которые в свою очередь в значительной степени зависят как от материалов, из которых изготовлены компоненты, так и от предполагаемого режима работы. Во время эксплуатации МЭМС и микророботов свойства элементов, характер взаимодействий могут меняться, иногда весьма значительно, поэтому необходимо накопление статистической информации в виде специализированных банков данных, моделей и режимов.

Для устойчивой работы предлагаемой модели информационных взаимодействий необходимо ее погружение в специализированную информационную среду, предоставляющую возможность использования единого протокола обмена информацией. При этом этой средой также должны решаться задачи поддержки необходимых типов внешних интерфейсов: пользовательского и удаленного доступа. Наиболее приемлемым вариантом для реализации является создание виртуальной среды, реализующей необходимые режимы работы, различные типы интерфейсов, программно-аппаратную поддержку процессов управления, планирования и моделирования.

Построение 3D-моделей позволяет при использовании виртуальной среды визуализировать поведение исследуемых микророботов и микросистем, что приближает процесс математического моделирования к натурным экспериментам, и облегчает восприятие информации пользователем.

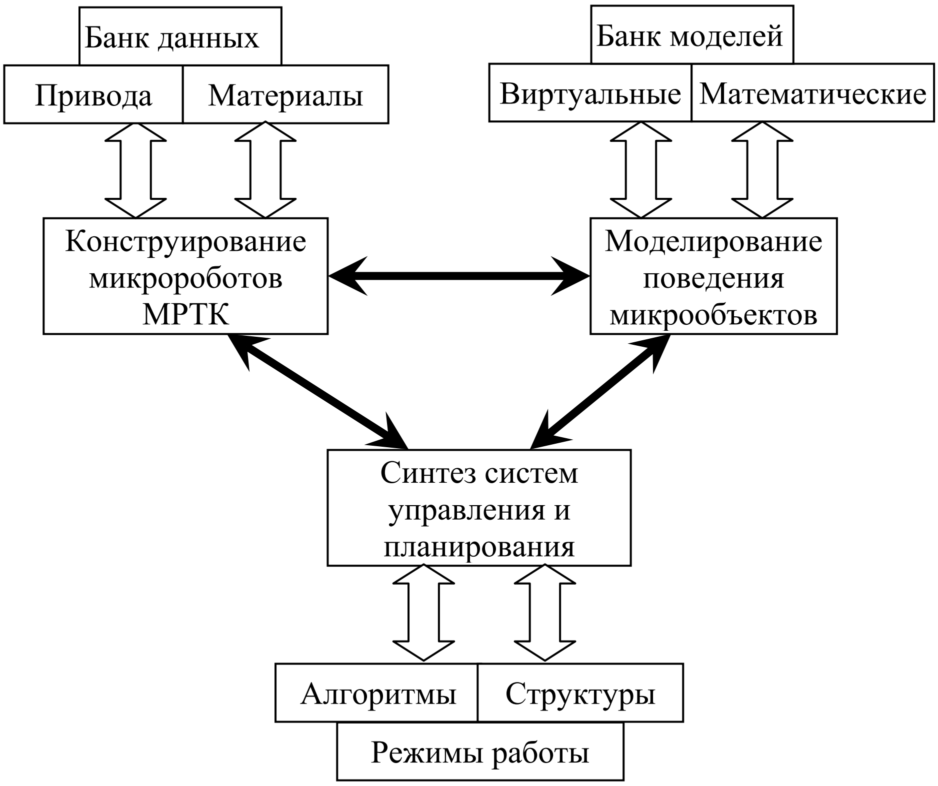


Рисунок 2 – Информационная модель функционирования систем управления МРТК

Интеллектуальная система управления перемещением микроробота

Для построения интеллектуальной системы управления перемещением микроробота по заданной траектории на первом этапе была синтезирована адаптивная система, построенная в классе беспоисковых самонастраивающихся систем с нелиейным контуром коррекции. Синтез структуры обобщенного настраиваемого объекта (ОНО) проводится введением в систему цепи параметрической коррекции, тогда входное воздействие $\overline{\rho}(t)$ можно записать в виде: $\overline{c}(t) = U(t) - \left[K^*\right]^{-1} \cdot Д\widetilde{K}(t)c(t)$, где $U(t)$ – сигнал управления, поступающий с регулятора; K^* – номинальный коэффициент передачи объекта; $Д\widetilde{K}(t)$ – настраиваемый коэффициент. Синтез алгоритма самонастройки проведен методом

градиента, искомый алгоритм получен в виде: $\frac{d\text{Д}\widetilde{K}}{dt} = 2\text{л}\cdot W(p)\cdot \bar{\partial}(t)\cdot \bar{c}(t)$, где *W(p)* – оператор корректирующего устройства, $\partial(t)$ - ошибка по положению, λ – варьируемый параметр.

Так как системам управления предъявляются достаточно жесткие требования к объему и времени вычислений, поэтому контур коррекции и регулятор в прямой цепи реализованы в конечном варианте системы с использованием алгоритмов нечеткой логики. Для этого на основе экспертных данных и результатов моделирования работы синтезированной адаптивной системы управления были выбраны функции принадлежности для входных и выходных величин, правила формирования выходного значения. Использование алгоритмов нечеткой логики позволило повысить в 2,5 раза скорость вычисления управляющих воздействий, уменьшить отклонение траектории микроробота от желаемой траектории. Эксперименты показали, что при использовании корректирующего звена на основе нечеткой логики, система своевременно реагирует на отклонения от желаемой траектории при действии случайных возмущений.

Так как на вход в контур коррекции поступает интегральная ошибка, а также используется стабильная частота подачи управляющего сигнала, то динамика перемещения робота отличается от модельной. Поэтому структура интеллектуальной СУ была дополнена контуром коррекции частоты генерации управляющего сигнала для компенсации отставания (рис. 3).

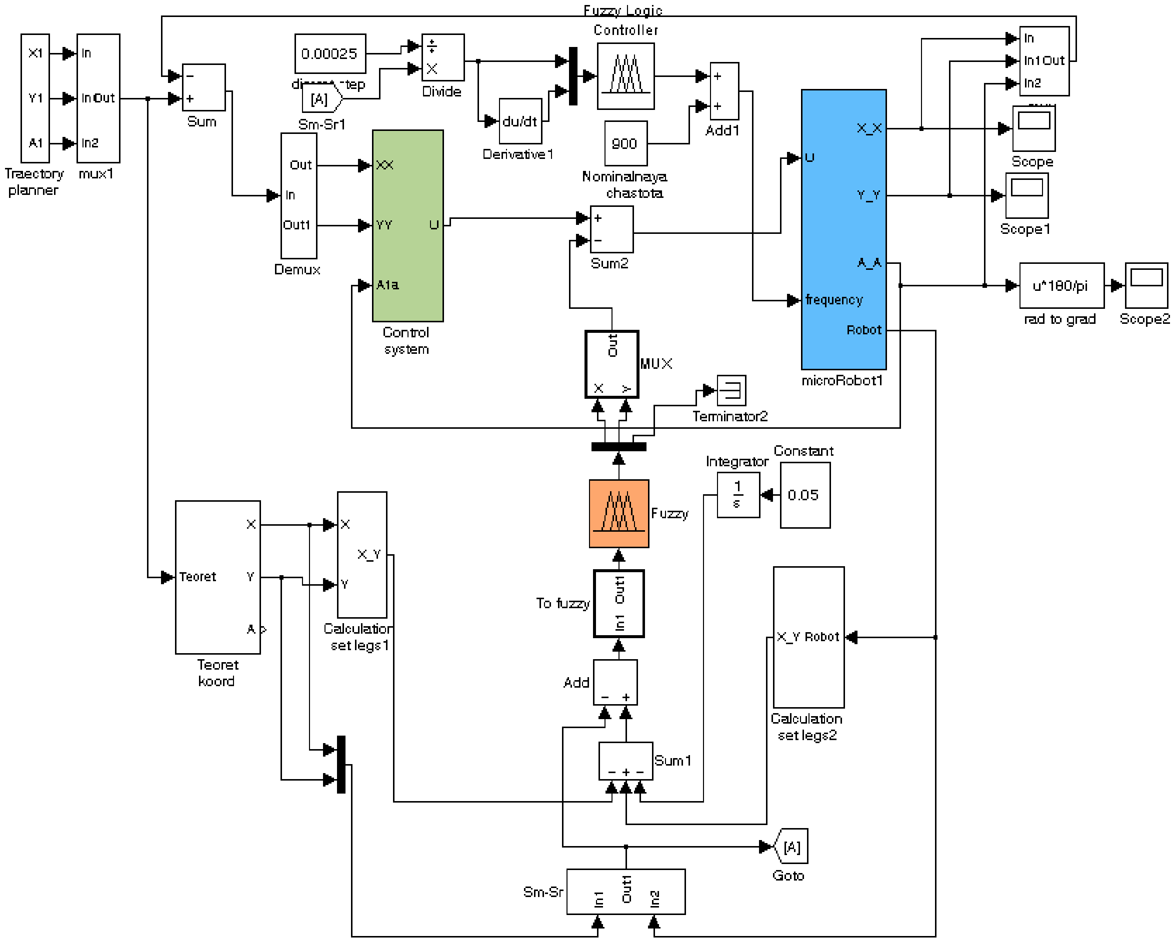


Рисунок 3 – Модель интеллектуальной СУ микроробота

При генерации управляющих воздействий сборочными микромеханизмами проанализировать и учесть влияние каждого из возмущающих факторов практически невозможно из-за отсутствия численных показателей для большинства из них, а также чрезмерного увеличения сложности модели. Поэтому для компенсации действующих возмущений предложен подход, основанный на синтезе интеллектуальной системы управления с блоком предсказания (предиктором), построенным в нейросетевом базисе и использующем в процессе функционирования как результаты моделирования различных составляющих адгезии y_2, y_3, y_4, так и текущую доступную информацию с сенсорных систем y_1 (рис. 4). Также предложено расширение прогностических контуров системы управления на всю подсистему управления манипуляциями, включая канал управления приводами схвата, что позволяет значительно уменьшить, в 5 – 7 раз, развиваемые усилия, а соответственно и габариты схвата, что влечет значительное, в несколько раз, увеличение скорости работы микромеханизма.

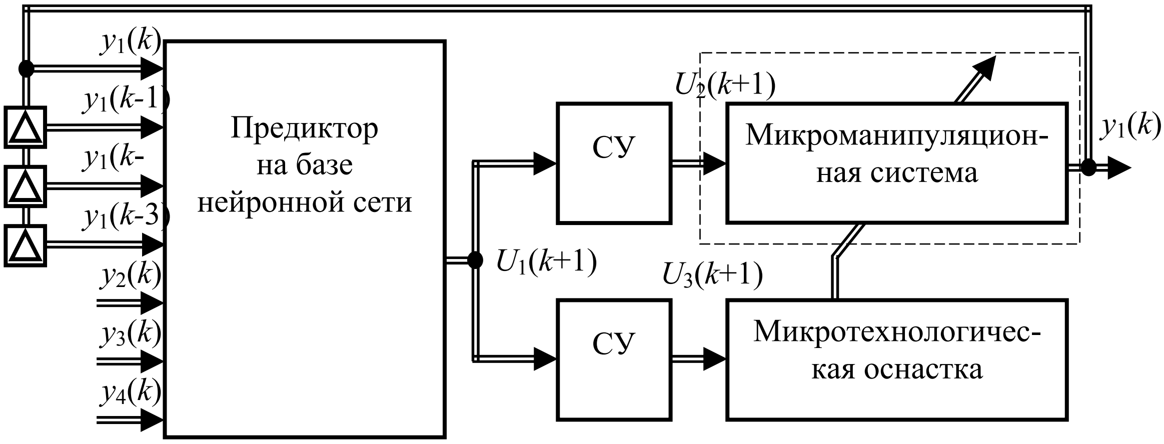


Рисунок 4 – Прогнозирующее управление микросборочными процессами

Интеллектуальные системы планирования

Стандартные системы планирования маршрутов роботов (микророботов) требуют значительных вычислительных ресурсов и наиболее полных знаний об окружающей обстановке, что практически невозможно обеспечить для больших коллективов автономных мобильных микророботов. Поэтому возникает необходимость использования нестандартных подходов к решению данной задачи. Планирование оптимальных маршрутов движения мобильных роботов, осуществляющих одновременное функционирование в пределах одного рабочего пространства, является одной из фундаментальных проблем робототехники. Как было отмечено в работе [5], наиболее целесообразной основой для разработки новых методов планирования траекторий движения в группе микророботов, выполняющих технологические операции в составе микроробототехнических комплексов, являются генетические алгоритмы (ГА).

Впервые использовать генетические методы в задаче планирования оптимальных маршрутов было предложено в 90-х годах прошлого века . Анализ этих работ показал, что существует ряд нерешенных проблем, относящихся к планированию оптимальных маршрутов для мобильных роботов, осуществляющих одновременное движение в пределах одного рабочего пространства. Так, общей чертой известных методов планирования на основе ГА является двухмерное сеточное представление модели внешней среды, основанное на разбиении рабочей области на конечное постоянное число прямоугольных

элементарных областей. Поэтому основным недостатком этих методов является то, что поиск оптимального решения проводится не в пространственно-временном, а только в координатном базисе. Вместе с тем, в условиях нестационарной внешней среды более предпочтительным вариантом, чтобы обеспечить бесконфликтное движение роботов, как правило, является не изменение маршрута движения, а регулирование значения скорости движения на определенном участке маршрута. Еще одним недостатком известных методов на базе ГА является слабая организация процессов управления разнообразием популяции. Как следствие, наблюдается низкая скорость сходимости ГА или же их преждевременная сходимость.

При решении задачи перемещения роботов в локальной окрестности, где возможно появление как статических, так и динамических препятствий с помощью ГА для задания окрестности микроробота предложено использовать N сеточных представлений в виде матриц размерностью $S_x \times S_y$, элементы которой принимают логические значения, в зависимости от того свободна или занята препятствием соответствующая ячейка сетки. В качестве индивидуумов рассматриваются маршруты движения по ячейкам сеток, поэтому хромосома будет представлять собой последовательность N_p узлов, образующих траекторию движения. При этом каждый i-ый узел будет содержать гены – координаты в виде индексов x_i и y_i соответствующей ячейки, а также индекс момента времени t_i – нахождение микроробота в ячейке (рис. 5).

В качестве функции пригодности используется следующий функционал

$$S = \sum_{k=1}^{5} \omega_k S_k, \sum_{k=1}^{5} \omega_k = 1, \quad \text{где} \quad S_2 = 1/N_p, \quad S_3 = \sum_{i=0}^{N_p-1} \sum_{j=1}^{M} \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2},$$

$$S_1 = \left(\sum_{i=0}^{N_p-1} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \right)^{-1} = \left(\sum_{i=0}^{N_p-1} d(x_i, x_{i+1}, y_i, y_{i+1}) \right)^{-1}, \qquad S_5 = \left(\sum_{i=1}^{N_p-2} e^{\theta_i - \alpha} \right)^{-1},$$

$$S_4 = \sum_{i=0}^{N_p-1} \sum_{j=1}^{S} \sqrt{(x_{j,t} - x_{i,t})^2 + (y_{j,t} - y_{i,t})^2}$$ – локальные функции пригодности отвечающие за минимизацию длины маршрута, количества поворотов, удаление от подвижных и неподвижных препятствий.

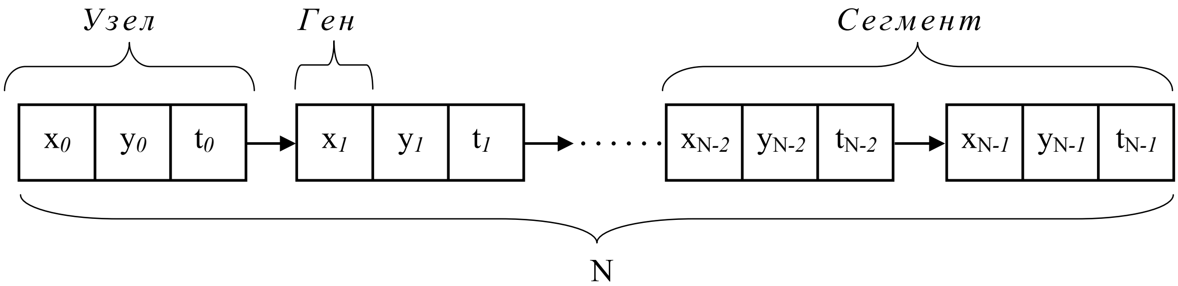


Рисунок 5 – Кодировка маршрута движения в хромосоме

При генерации новых поколений хромосом кроме стандартных операции мутации и кроссинговера используются операции сглаживания и спрямления хромосом – траекторий. Размер популяции – 10÷20 хромосом для рабочего пространства 10*10. Эксперименты показывают, что уже на 3 или 4 шаге можно получить близкие к оптимальным траектории перемещения микророботов. А так как гены представляют собой целочисленные значения и функции пригодности построены на простейших операциях, то даже с этой точки зрения предлагаемый метод поиска траекторий с помощью ГА наиболее приспособлен для бортовых СУ микророботами.

Заключение

В статье показана только малая часть проделанной работы, но даже приведенные результаты позволяют сделать вывод о необходимости использования интеллектуальных алгоритмов при построении СУ МРТК. При этом не может быть решена только какая-то частная задача – управление перемещением микроробота на каком-то из доступных режимов, планирование только локальных траекторий, прогнозирование поведения микрообъектов с использованием части моделей и т.д. Желаемый результат управления достигается лишь при комплексном решении всех возникающих при использовании микророботов проблем.

Дальнейшее развитие описанной выше интеллектуальной системы видится в расширении классов микрообъектов, микророботов и микроинструмента, в дальнейшем накоплении статистических и модельных данных, необходимых для повышения точности при генерации управляющих сигналов и прогнозов действующих адгезионных эффектов [8].

Литература

1. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.П. Петрашев, С.А. Сергеев. – Х.: Основа, 1997.
2. Каляев И.А., Гайдук А.Р. Однородные нейроподобные структуры в системах выбора действия интеллектуальных роботов. – М.: Янус, 2000.
3. Тимофеев А.В. Адаптивные робототехнические комплексы. – М.: Машиностроение, 1998.
4. Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Манипуляционные микроробототехнические системы и проблемы производства гибридных МЭМС// Нано- и микросистемная техника. – 2005. – № 2. – С. 38-44.
5. Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Система планирования движения группы мобильных микророботов на основе генетических алгоритмов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2007. – № 3.
6. Gerke M. Genetic path planning for mobile robots // Proc. of the American Control Conference. – 1999. – Vol. 4. – 1999. – P. 2424-2429.
7. Leung C.R. and Zalzala A.M.S. A genetic solution for the motion of wheeled robotic systems in dynamic environments // Int. Conf. on Control '94. – VoU, 1994. – P. 760-764.
8. Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Использование нейросетевых предикторов в системах управления МЭМС из наноструктурных материалов // Искусственный интеллект. – 2007. – № 4. – С. 587-594.

О.В. Даринцев

Використання інтелектуальних алгоритмів під час побудови систем керування мікроробототехнічними комплексами

Розглянуто методики використання алгоритмів штучного інтелекту під час побудови систем керування мікророботами і комплексами, що враховують специфіку вирішуваних задач і непередбачуваний характер взаємодії мікрооб’єктів між собою і з навколишнім середовищем. Показано необхідність побудови і використання віртуальних моделей не тільки під час синтезу алгоритмів, але і в процесі керування. Наведено результати програмних і натурних експериментів.

O.V. Daryntsev

Procedures of Artificial Intellect Algorithms Usage in Designing Process of Control systems for Microrobots and its Complexes

Methods of artificial intellect algorithms usage in designing process of control systems for microrobots and its complexes solved problems considering specificity and unpredictable character of microscopic objects interacting between themselves and with environment are observed. Necessity of virtual models designing and usage not only at algorithms synthesis, but also in control process are described. The results of program and natural experiments are demonstrated.

Статья поступила в редакцию 30.05.2008.